Kung's Algorithm을 이용한 센서 고장진단 모델링에 관한 연구

이상목* · 김남호*

*부경대학교 공과대학 제어계측공학과

A Study on Modeling of Sensor Fault Diagnosis using Kung's Algorithm

Sang-Mok Lee* · Nam-Ho Kim*

*Dept. of Control and Instrumentation Eng. Pukyong National University

E-mail : nhk@pknu.ac.kr

요 약

최근 자동화 기술의 발전으로 산업체에는 대규모 자동화 시스템으로 변화되고 있다. 그에 따른 시스템 감시와 파라미터 측정에 사용되는 센서 또한 자동화 시스템에서 중요한 요소로 차지하고 있다. 따라서, 자동화 시스템에서 센서의 고장으로 인한 시스템 오작동으로 고장이 발생한다면 경제적 피해 및 인명피해를 초래할 수 있다. 본 논문에서는 센서의 직접적인 고장진단을 위해 Kung's Algorithm을 이용하여 센서 출력값 모델링과 결정이론을 통한 고장진단방법에 대해 제시한다.

ABSTRACT

With the development of automation technology and the increase of large-scale automation projects, sensors used for state monitor and parameter measurement have become more and more important. Once the sensor faults occur, which will lead to the degradation of automation system's performance, and even disastrous consequences. In this paper, sensor output value modeling is performed using Kung's Algorithm for direct fault diagnosis of sensor, and fault diagnosis method based on decision theory is presented.

키워드

Fault Diagnosis, Kun's Algorithm, Solenoid Valve, Sensor

Ⅰ. 서 론

최근 자동화 기술의 발전으로 산업체에는 대규모 자동화 시스템으로 변화되고 있다. 그에 따른 시스템 감시와 파라미터 측정에 사용되는 센서 또한 자동화 시스템에서 중요한 요소로 차지하고 있다.

따라서, 자동화 시스템에서 센서의 고장으로 인한 시스템 오작동으로 고장이 발생한다면 경제적 피해 및 인명피해를 초래할 수 있다.

본 논문에서는 센서 고장진단방법에 대해 제시한다.

센서의 고장진단방법으로 센서 출력값에 따른 Kung's Algorithm을 이용하여 센서를 모델링 하였으며, 제어시스템에서 널리 사용되어 지고 있는 솔레노이드 밸브 시스템을 구축하여 센서의 고장진단방법에 대하여 실험 및 검증 하였다.

Ⅱ. 고장진단 모델링

2.1 Kung's Algorithm Procedure

본 논문에서 제시하는 센서 고장진단을 위한 센서 모델링 방법으로 Kung's Algorithm을 사용하여 센서 모델을 제시한다.

시스템의 상태방정식이 식 (1)과 같이 표현되며, 전달함수는 식 (2)이다.

$$\begin{cases} x(k+1) = Fx(k) + Tv(k) \\ y(k) \quad\quad = hx(k) + v(k) \end{cases} \tag{1}$$

$$H(z) = h(zI - F)^{-1}T + 1 \tag{2}$$

여기서 상태 천이행렬 F는 식 (3)으로 표현되며, 모델과 상태변수의 임펄스응답 사이의 관계식이 식 (4)와 같다.

$$F=\begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ a_2 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_p & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$i(k)=hF^{k-1}T, \qquad k>0 \tag{4}$$

이 관계는 임펄스응답으로 형성된 Hankel Matrix가 식 (5)로 인자화할 수 있다.

$$H=\begin{bmatrix} h \\ hF \\ hF^2 \\ \vdots \end{bmatrix}\left[T, FT, F^2T, \cdots\right]=\alpha\times\beta \tag{5}$$

α는 observability matrix 이며, β는 controllability matrix 이다.

Hankel matrix $H=\alpha\times\beta$ 에서 α가 $\alpha=\alpha^{\uparrow}$ 를 만족한다. 그러므로 상태천이행렬 F는 식 (6) 과같이 표현 되며, $\alpha^{\uparrow}$ 는 식 (7)로 정의된다.

$$F=\alpha^{\dagger}\times\alpha^{\uparrow} \tag{6}$$

$$\alpha^{\uparrow}=\begin{bmatrix} hF \\ hF^2 \\ hF^3 \\ \vdots \end{bmatrix},\ \alpha^{\dagger}=(\alpha^T\alpha)^{-1}\bullet\alpha^T \tag{7}$$

특이값분해(SVD: Singular Value Decomposition)의 이용하기 위해 센서의 입력값을 Hankel Matrix 형식으로 표현한다. 여기서 특이값분해 S를 사용하여 hankel matrix의 좌 특이벡터(left singular vector), 특이행렬(Ssingular matrix), 우 특이벡터(right singular vector)를 생성한다. 이때 특이행렬 S에 의해서 차수가 결정된다.

특이행렬에서 S(1,1)항이 다른 diagonal 항에 비해 월등히 큰 값을 가지므로 차수는 1차가 된다.

측정치에 대한 hankel matrix H는 좌 특이벡터 u , 특이행렬 $\sum$, 우 특이벡터 v 으로 식 (8)과 같이 정의된다.

$$H=u\sum v^T \tag{8}$$

또한 상태변수는 α와 β에 의해서 생성되어 천이행렬 F 식 (9)와 같이 정의된다.

$$F=\alpha^{\dagger}\alpha^{\uparrow} \tag{9}$$

여기서 $\alpha^{\dagger}$ α 의 pseudoinverse, $\alpha^{\uparrow}$ 는 α의 transpose이다.

센서의 상태방정식에 상태변수를 대입하면 센서의 모델은 식 (10)으로 정의하여 모델링할 수 있다.

$$\begin{cases} x(k+1)=\alpha^{\dagger}\alpha^{\uparrow}x(k)+\beta^1v(k) \\ y(k) \quad\ =\alpha^1x(k)+v(k) \end{cases} \tag{10}$$

2.2 Fault Detection

본 논문에서는 앞서 설명한 센서값에 대한 모델링을 바탕으로 결정이론(Decision Theory)을 적용하여 고장 발생을 검출 하고자 한다.

모든 결정과 추정문제(estimation problems)는 기본적으로 4가지 단계로 구성된다.

- 1단계 : 고장 발생(happening)
- 2단계 : 신호 매커니즘에 의한 관측자와 연관
- 3단계 : 잡음과 함께 관측되어 짐
- 4단계 : 관측자는 고장발생과 연관된 원인을 결정하게 됨

III. 실험방법 및 구성

3.1 시스템 구성

본 논문에서는 솔레노이드 밸브의 작동에 따른 유량센서를 통해 유량을 측정하여 그 값을 데이터화하여 분석함으로서 솔레노이드 밸브의 고장을 검출하였다.

Test Bed는 솔레노이드 밸브와 유량계를 설치하여 물이 떨어지는 압력을 일정하게 유지하기 위해 대기압을 사용하여 일정량의 물을 펌프를 통해 물을 자유낙하 시키는 방법으로 설계되어 있다. 따라서, 솔레노이드 밸브가 정상상태일 때에는 항상 일정한 유량이 측정된다.

3.2 고장신호

솔레노이드 밸브를 오랫동안 사용하게 되면 밸브 내부에 오물이 쌓여 밸브가 완전 개방이 되지 않는 경우와 고무마개의 노화로 완전히 닫히지 않는 경우가 발생하게 된다.

따라서 센서의 출력값이 서서히 변화가 생기는 현상인 drift 오류를 만들어 솔레노이드 밸브의 정상상태와 고장상태를 비교하였다.

IV. 실험결과

그림 1은 센서의 출력값과 출력값의 모델링 되어진 값을 그래프로 보여주고 있다. 그림 2는 솔레노이드 밸브의 Drift 현상일 때

고장을 판별하는 그래프와 알람을 보여주고 있다.

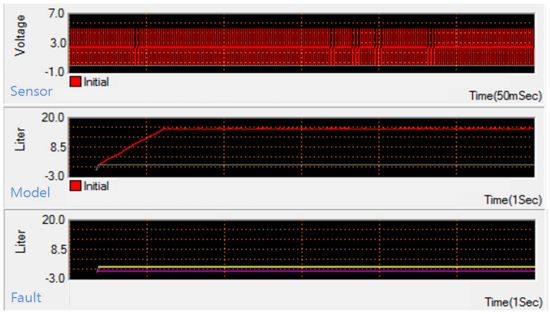

Fig. 1. Sensor Modeling Data

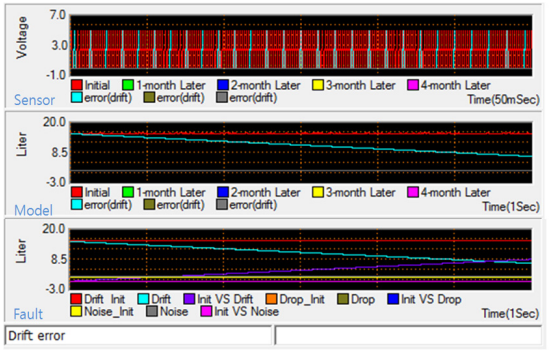

Fig. 2. Drift error detection

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 Kung's Algorithm을 이용하여 센서 출력값을 모델링하였으며, 센서의 고장판별을 위해 결정이론을 이용하여 센서 고장을 판별하였으며, 자동화 시스템에서 널리 사용되어지고 있는 솔레노이드 밸브 시스템을 구성하여 시험하였다.

시험을 통해 솔레노이드 밸브에서 흔이 발생하는 drift 오류에서 본 논문에서 제안하는 고장진단 모델링으로 drift 오류를 판별 할 수 있었다.

다음 연구과제로는 임펄스 응답이 아닌 센서의 출력에 대해서 센서 출력의 안정화시기에 모델링 적용하는 방법이 아닌 다른 방법 또한 고안이 필요하며, 고장유형을 정리하여 다양한 센서의 고장에서 고장 진단을 포함한 고장유형 또한 판단할 수 있는 시스템을 고안이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Brain Busan 21 Project in 2017.

참고문헌

[1] Deyst J J, Kanazuwa R M, Pasguenza J P. Sensor validation: a method to enhance the quality of the man/machine interface in nuclear power stations. IEEE Transaction of Nuclear Science, 1981, 28(3): 885-890

[2] Gou T H, Nurre J. Sensor failure detection and recovery by neural networks. IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 1991, 1(12): 221-226

[3] Sadeh E. The politics of space: A survey, 1st ed. Taylor & Francis e-Library Press, 2011: 118-120